

# 初期凍害を受けた高流動コンクリートの品質低下と その対策に関する基礎的研究

|     |   |
|-----|---|
| 著者  | 高 京澤  |
| 号   | 2369  |
| 発行年 | 1998  |
| URL | <a href="http://hdl.handle.net/10097/7642">http://hdl.handle.net/10097/7642</a> |

|               |   |
|---------------|---|
| 氏 名           | こう きょん てく<br>高 京 澤                          |
| 授 与 学 位       | 博士（工学）                                      |
| 学 位 授 与 年 月 日 | 平成11年3月25日                                  |
| 学位授与の根拠法規     | 学位規則第4条第1項                                  |
| 研究科，専攻の名称     | 東北大学大学院工学研究科（博士課程）土木工学専攻                    |
| 学 位 論 文 題 目   | 初期凍害を受けた高流動コンクリートの品質低下とその対策<br>に関する基礎的研究    |
| 指 導 教 官       | 東北大学教授 三浦 尚                                 |
| 論 文 審 査 委 員   | 主査 東北大学教授 三浦 尚 東北大学教授 岸野 佑次<br>東北大学教授 鈴木 基行 |

## 論文内容要旨

コンクリートは、鋼材とともに、社会基盤施設を構築するためには欠かせない重要な建設材料の一つであり、今後もますますその役割は大きくなると思われる。コンクリートは、適切な設計及び施工のもとでは安全で耐久的な構造物を構築できるという特長を有している。このように耐久的で信頼性の高いコンクリート構造物を造るには、打設の際に、コンクリートを入念に締め固めることが必要不可欠である。

一方、近年の建設事業の増大、建設作業員の高齢化や熟練工の不足、特殊環境下での建設工事の増加、構造物の高性能化など、建設業界を取り巻く環境は大きく変化しており、コンクリートの入念な施工が難しくなっている。

これらの問題の解決策として、日本では1988年に東京大学の岡村教授らにより、コンクリート打設時の締め固めを行わずに型枠の隅々まで充填できる高流動コンクリートが開発された。その後高流動コンクリートは、コンクリート施工の省力化、合理化及びコンクリートの構造物の信頼性向上が期待できる技術として注目を集めており、土木、建築の構造物に実施工例が多数見られるようになった。また、寒冷地においても高流動コンクリートによる構造物が施工されつつあり、今後ますます増加するものと期待される。

このように、寒冷地でコンクリートを施工する場合、養生する温度が低温となるため、一般に凝結や硬化が遅れる傾向にある。また、更なる気温の低下により、コンクリートが凝結や硬化初期に凍結してしまった場合、硬化後の強度、水密性、耐久性などのコンクリートの品質が著しく低下する恐れがある。従って、寒冷地で冬期にコンクリート構造物を施工する場合には、初期凍害を受けないようにすることが最も重要である。

高流動コンクリートは、流動性を確保するため高性能 AE 減水剤を比較的多量に使用し、粘性を付与するため様々な微粉末材料や増粘剤が用いられており、中には反応の遅い高炉スラグ微粉末をかなり割合で混和する例も多い。高炉スラグ微粉末を多量に混和した高流動コンクリートは、凝結硬化が

遅れる傾向にあり、その傾向は低温環境下でより顕著に現れるので、このようなコンクリートを寒冷地で施工する場合、高炉スラグ微粉末を混和しない普通のコンクリートに比べ、初期凍害を受ける危険性や初期の凍結による品質への影響は大きくなると考えられる。

初期凍害に関する既往の研究では、初期の凍結によるコンクリートの品質低下について、強度だけで評価したものが殆どである。一般に、強度と耐久性は良好な相関があると言われているが、初期に凍結を受けた場合、コンクリートの細孔組織が変化するので、両者に相関が得られない可能性もあると予想される。そこで、本研究では寒冷地におけるコンクリートの品質で特に重要とされる耐凍害性に着目し、初期の凍結によるコンクリートの品質低下について、強度と耐凍害性を合わせて評価することにした。

本研究で対象とする配合の中には、反応の遅い高炉スラグ微粉末を多量に混和したコンクリートがあることから、規準に規定されている材齢 14 日で凍結融解試験を開始すると、試験中に水和が進行することが予想される。そのため、得られた結果の中には、水和の影響を含む可能性があり、データの精度を高めるためには、凍結融解試験中の水和の影響を補正する必要がある。このように凍結融解試験中の水和の影響を補正する方法として、三浦らが提案したものと、長合らが提案したものがある。しかし、これらの方法は、後述するように実用上あるいは精度の面で問題を残しており、改善する余地が残されている。

以上のことから、本研究では高炉スラグ微粉末を混和した粉体系高流動コンクリートが材齢初期に凍結してしまった場合を取り上げ、初期の凍結による品質低下とその後の各種対策の効果について比較検討を行った。また、このようなコンクリートの耐凍害性を正しく評価するため、凍結融解試験中の水和の影響を精度良く補正する方法について検討を行った。

本論文は、5つの章より構成されており、以下に各章の要旨を述べる。

第1章の「序論」では、研究の背景と、高流動コンクリート及び初期凍害などの既往の研究について述べ、研究の目的及び特徴を明らかにした。

第2章の「初期凍害を受けたコンクリートの耐凍害性の評価法に関する検討」では、凍結融解試験中に進行する水和の影響を補正し、より精度の高い耐凍害性を評価できる方法について検討を行った。すなわち、本研究で用いた配合の中には、反応の遅い高炉スラグ微粉末を多量に混和したものがあるために、一般の試験材齢では凍結融解試験中にも水和が進行し、得られた耐凍害性の結果の中には、劣化による動弾性係数の低下に水和による動弾性係数の増加が加わってしまい、劣化を正確に判断することができなくなる可能性が大きいからである。このような急速凍結融解試験中の水和の影響を補正する方法として、三浦らが提案した緩速凍結融解試験によるものと、積算温度と動弾性係数との関係を用いた長合ら提案したものがある。その中で、三浦らが提案した方法は、急速凍結融解試験と緩速凍結融解試験で積算温度が常に等しくなるため、緩速凍結融解試験中に凍結による劣化が起らない限り、急速凍結融解試験中の水和による品質の向上量を精度良く求めることが可能であると考えられる。本研究では、コンクリートが十分に硬化した材齢 35 日より緩速凍結融解試験を行うため、凍結による劣化の影響は殆どないと判断される。しかし、この方法は、急速凍結融解試験機の他に緩速凍結融解試験機が必要になるなど、実用的な面で問題がある。一方、長合らが提案した方法は、三浦が

提案した緩速凍結融解試験に比べ、試験方法は簡単であるが、本研究に適用する場合、精度の面で問題があると思われる。例えば、本研究では、封かん養生後、水中凍結融解試験を行うため、凍結融解試験中にコンクリート供試体が水分を吸収することになる。従って、凍結融解試験開始前後で水分条件が変化するため、凍結融解試験を行う前の養生中に測定した動弾性係数のデータにより、凍結融解試験中の動弾性係数の増加量を評価する際に無視できない誤差が生じるとと思われる。この点については、封かん養生後、供試体を水中において、動弾性係数を測定することにより、改善できると思われる。また、長合らが用いた積算温度式により、高炉スラグ微粉末を混和したコンクリートの凍結融解試験中の積算温度を精度良く求めることができるか疑問が残る。

そこで、この章では、反応の遅い高炉スラグ微粉末を多量に混和したコンクリートの耐凍害性を評価するため、急速凍結融解試験中の水和の影響を評価する上で、精度が高いと思われる緩速凍結融解試験により、急速凍結融解試験中の水和の影響を補正した。また、初期に凍結を受けたコンクリートの耐凍害性をより簡単に評価できる方法を検討するため、緩速凍結融解試験により補正を行った結果と 0℃一定、20℃一定で水中に供試体において、その時の積算温度と動弾性係数との関係を用いて補正を行った結果との比較を行った。

この研究で得られた結果をまとめると以下の通りである。

- (1) 初期に凍結を受けたコンクリートは、配合によっては急速凍結融解試験中の水和の影響が無視できない程度あり、耐凍害性を正しく評価するためには、この水和の影響を補正する必要がある。
- (2) 0℃、20℃で水中一定試験を行い、積算温度と動弾性係数との関係を用いて補正を行った結果、0℃で水中一定試験によるものは、初期に凍結を受けたコンクリートの耐凍害性を評価する方法として、今後十分に実用化される可能性があると思われる。しかしながら現段階では、精度の面で緩速凍結融解試験と同等となるまでには至らない。

第3章の「初期凍害を受けた高流動コンクリートの品質低下」では、寒冷地における高炉スラグ微粉末を混和した高流動コンクリートが材齢初期に凍結してしまった場合を取り上げ、初期の凍結の程度によるコンクリートの品質低下について比較検討した。また、結合材として普通ポルトランドセメントのみを使用した普通コンクリートに対しても実験を行い、高炉スラグ微粉末を混和した高流動コンクリートとの比較を行った。

この研究で得られた結果をまとめると以下の通りである。

- (1) 初期に凍結を受けた高炉スラグ微粉末を混和した高流動コンクリートは、配合に関わらず凍結を受けないものと比較して、コンクリートの圧縮強度や耐凍害性の品質が大きく低下する。また、凍結時間が長いほど、凍結温度が低いほどコンクリートの品質低下はさらに大きくなる傾向がある。初期の凍結の程度がコンクリートの品質低下に及ぼす影響は、圧縮強度より耐凍害性の方が顕著に現れる。
- (2) 同じ水結合材比で比較した場合、初期に凍結を受けたことにより、高炉スラグ微粉末を混和した高流動コンクリートの方が、普通コンクリートに比べ、品質低下が大きく、特に耐凍害性の低下が顕著に現れる。
- (3) 初期に凍結を受けたものは、凍結を受けないものに比べ、全細孔量や比較的大きい径の毛細管

空隙に相当する細孔量が多くなり、細孔組織がポーラスになる。また、この傾向は材齢が経過してもある程度以上に改善されることはない。

第4章の「初期凍害を受けた高流動コンクリートの品質低下に対する対策」では、第3章で初期に凍結を受けたことにより、品質が大きく低下したコンクリートに対し、初期の凍結後、水分を供給したり、給熱するなどの養生による各種対策の効果について比較検討した。また、初期に凍結を受けたコンクリートの強度と耐凍害性の関係についても検討を行った。

この研究で得られた結果をまとめると以下の通りである。

- (1) 高炉スラグ微粉末を混和した高流動コンクリートは、初期に凍結を受けた後、養生中に水分を供給するなどの対策を行うことにより、強度、耐凍害性ともにある程度改善される。ただし、凍結を受けないものと比較すると、 $-10^{\circ}\text{C}$ で12時間の凍結を受けた場合、強度は同程度まで回復するが、耐凍害性は回復しない。また、 $-20^{\circ}\text{C}$ で12時間の凍結を受けた場合、強度、耐凍害性ともに凍結を受けないものまでは回復しない。
- (2) 封かん養生の場合、初期に凍結を受けた後、対策として給熱養生を行うと、初期強度は改善されるが、長期強度、耐凍害性については効果が見られない。
- (3) 初期に凍結を受けた後、養生中に水分を供給するなどの対策を行うことにより、全細孔量及び比較的大きい径の毛細管空隙に相当する細孔量が少なくなり、細孔組織はある程度緻密化する。ただし、凍結を受けないものの細孔組織までは緻密化しない。
- (4) 初期に凍結を受けたコンクリートの強度と耐凍害性との間には必ずしも相関が存在せず、初期の凍結による品質低下を評価する際には、強度だけでなく耐凍害性と合わせて評価する必要がある。

第5章の「結論」では、前章まで得られた研究の結論をとりまとめ、本論文全体の結論とした。

## 審査結果の要旨

近年、コンクリート工学の分野においては、締固めを行わずに充填できる高流動コンクリートが開発され、既に数多くの実施例がある。

一方、このような高流動コンクリートの中には、反応の遅い高炉スラグ微粉末を多量に混和したり、高性能 AE 減水剤を多量に使用した物があるため、寒冷地でコンクリートを施工する場合、凝結硬化が遅れ、普通のコンクリートに比べて初期凍害を受ける危険性が高くなると考えられる。

本研究では高炉スラグ微粉末を混和した高流動コンクリートが十分硬化する前に凍結した場合を取り上げ、凍結による品質低下とその後の各種対策の効果について比較検討を行った。また、凝結硬化の遅いコンクリートに急速凍結融解試験を実施した場合に問題となる、試験中の水和の影響を補正する方法を開発し、これを用いて耐凍害性を正しく評価することとした。

本論文は全編 5 章よりなる。

第 1 章は序論であり、本研究の背景と目的および本論文の構成について記述している。

第 2 章では、凍結融解試験中に進行する水和の影響を補正し、より精度良く耐凍害性を評価する方法について検討を行っている。すなわち、本研究で用いたコンクリートの一部には反応の遅い高炉スラグ微粉末を多量に混和しており、一般の凍結融解試験では試験中に水和が進行し、得られた試験結果には水和による動弾性係数の増加の影響が加わる可能性が大きいからである。そして本研究においては、各種の対策を試みた結果、十分に実用化が期待できる補正方法を提案することが出来た。

第 3 章では、高炉スラグ微粉末を混和した高流動コンクリートが水和初期に凍結した場合を取り上げ、初期の凍結の程度とコンクリートの品質低下との関係について比較検討した。また、普通ポルトランドセメントのみを使用した普通コンクリートに対しても比較実験を行った。その結果、初期に凍結を受けた高炉スラグ微粉末を混和した高流動コンクリートは、凍結を受けないものと比較して、長期材令におけるコンクリートの圧縮強度と耐凍害性とが大きく低下することがわかった。

また、凍結時間が長いほど、凍結温度が低いほどコンクリートの品質低下は大きくなる傾向があり、さらに、初期の凍結の程度がコンクリートの品質低下に及ぼす影響は、圧縮強度より耐凍害性の方に顕著に現れることがわかった。これは重要な成果である。

第 4 章では、凍結を受けたことにより品質が大きく低下したコンクリートに対して施した各種対策の効果について比較検討を行った。

その結果、対策として給熱養生を行うと、初期強度は改善されるが、長期強度や耐凍害性については効果が見られないこと、水分を供給するなどの対策を行うと、強度については回復するが、耐凍害性については十分には回復しないことなどが明らかになった。

そしてこれらを総合すると、初期に凍結を受けたコンクリートの強度の低下と耐凍害性の低下との間には必ずしも相関が存在せず、コンクリートの初期凍結による品質低下を評価する際には、強度だけでなく耐凍害性とを合わせて評価する必要があることがわかった。

第 5 章は結論である。

以上要するに、本論文は、最近多く用いられるようになった高流動コンクリートが初期凍害を受けたときの影響とその対策について明らかにした物であり、コンクリート工学及び土木工学の進展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。